

Artículo de divulgación

Hongos Micorrícicos Arbusculares y su potencial uso como Agentes Biorremediadores en suelos con elevado contenido de metales pesados

Gil Cardeza M.L. y Gómez E.

Laboratorio de Biodiversidad Vegetal y Microbiana
Facultad de Ciencias Agrarias - UNR
lourgilcardeza@gmail.com

Los hongos micorrícicos o micorrizas son hongos que crecen en simbiosis con las raíces de las plantas; el nombre micorriza viene del latín mycos = hongo y rhiza = raíz. En la simbiosis ectomicorrícica, asociación presente fundamentalmente en árboles de bosques, el hongo crece fuera de las células radiculares mientras que en la simbiosis endomicorrícica, que incluye a las micorrizas arbusculares, parte de las hifas fúngicas crecen dentro de las células radiculares. Los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) se encuentran en simbiosis con el 70-90% de las plantas terrestres. Han existido por más de 400 millones de años sin alteraciones morfológicas por lo que pueden ser considerados como fósiles vivientes y se argumenta que han sido fundamentales para la adaptación de las plantas a la vida terrestre (Hiriji & Sanders 2005, Kahn 2006, Parniske 2008).

La presencia de los HMA en la raíces de las plantas se evidencia por la existencia de arbuscúlos que son las estructuras fúngicas donde se da el intercambio de nutrientes entre las células vegetales y las células fúngicas (Fig. 1). A través de los arbuscúlos la planta adquiere nutrientes como fosfato y nitrógeno mientras que el hongo adquiere compuestos carbonados producto de la fotosíntesis. Otra estructura característica de los HMA son las vesículas (anteriormente los HMA eran denominados hongos micorrícicos arbuscúlo-vesiculares) (Fig. 1). La función de las vesículas es desconocida, aunque se especula que podrían ser órganos de almacenamiento (Parniske 2008).

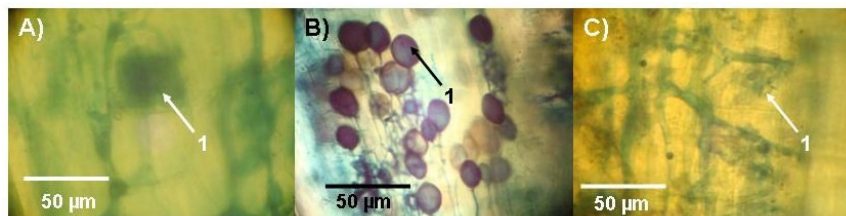


Figura 1. Hongos micorrícicos arbusculares en raíces de *C. maculatum* y *R. communis* aislados de suelos contaminados con Cr. A y B) *R. communis* A1: arbuscúlo, B1: vesícula; C) *C. maculatum* 1: arbuscúlo. Fotos sacadas bajo microscopio óptico a raíces teñidas con azul de metilo.

Los HMA son capaces de germinar en ausencia de raíces, sin embargo son biotrofos obligados ya que necesitan de un compañero fotoautotrófico para completar su

ciclo de vida y producir la nueva generación de esporas. El micelio fúngico de los HMA es aseptado y cenocítico, con cientos de núcleos compartiendo el mismo citoplasma. Cada espora también contiene cientos de núcleos y la comunidad científica todavía debate sobre los mecanismos que mantienen la diversidad polimórfica en el ADN dentro de una sola célula (Hiriji & Sanders 2005, Pawloska & Taylor 2004). Aunque no se ha reportado una fase sexual en el ciclo de vida de los HMA es posible que el material genético se intercambie y recombine (Parniske 2008).

La presencia de los HMA aumenta la biomasa vegetal en situaciones de baja disponibilidad de nutrientes, especialmente de fósforo (Fig. 2). Ahora bien, cuando los nutrientes están disponibles la presencia de los HMA no cambia la biomasa vegetal. Los mecanismos de regulación de la micorrización arbuscular son aún desconocidos, sin embargo se sabe que a medida que aumenta la cantidad de nutrientes disminuye el porcentaje de micorrización (%M) de la raíz (Parniske 2008). La asociación con los HMA le brinda plasticidad a la planta hospedadora y así la planta puede adaptarse rápidamente a los cambios en el ambiente. Un hongo es un organismo de menor complejidad que un vegetal, por lo tanto es de esperar que se reorganice más rápido frente a un estrés que una planta, que necesita de la sincronía entre los distintos tejidos. En nuestro laboratorio hemos visto que el %M fue significativamente mayor en raíces de *Ricinus communis* aisladas de suelos contaminados con cromo (Cr) que en raíces aisladas de suelos sin exposición a desechos industriales (51 vs. 13%).

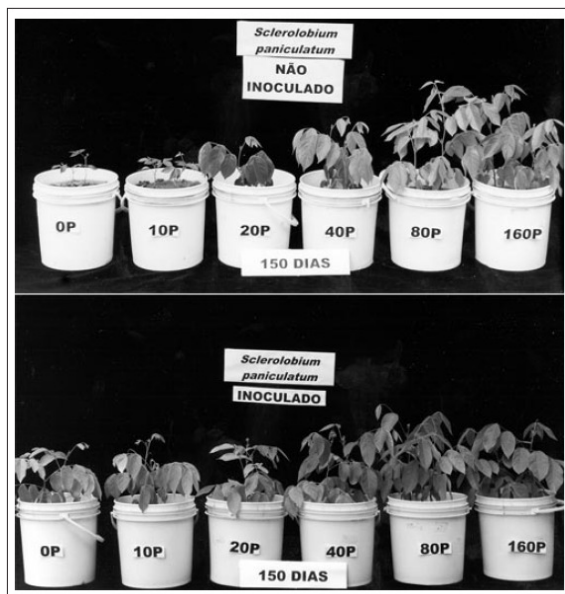


Figura 2. Plantas de *Sclerolobium paniculatum* inoculadas y no inoculadas con HMA en presencia de concentraciones crecientes de fósforo. Berbara RLL, Souza FA & Fonseca HMA. “Fungos Micorrízicos Arbusculares: Muito além da nutrição”. *SBCS, Viçosa, Nutrição Mineral de Plantas*. Capítulo III: 432p. (ed. FERNANDES, M.S.). 2006.

Uno de los contaminantes más habituales de suelos y aguas son los metales pesados como As, Cu, Cd, Cr, Pb, Zn, entre otros (Meier *et al.* 2012). La acumulación de EPT en el suelo puede tener importante incidencia en la salud de las poblaciones

cercanas a las zonas contaminadas, ya que no son biodegradables y pueden entrar en la cadena trófica, aumentando su concentración en los organismos de niveles superiores de la cadena. La constante exposición de los suelos a desechos de origen antrópico, en especial los de origen industrial, provoca cambios en dicho ambiente, pudiendo provocar estrés en la flora y fauna del lugar. La presencia de HMA podría ayudar a mitigar el estrés vegetal. Por ejemplo, en el caso de los metales pesados, los HMA pueden acumular dichos elementos en su biomasa (esporas, micelio, pared) o secretar quelantes y evitar o disminuir la cantidad que ingresa a la célula vegetal (Göhre & Paszkowski 2006). El grupo de investigación dirigido por el Dr. Cornejo (Chile), con quien trabajamos en colaboración, encontró que esporas de HMA acumulan Al y Cu en suelos con elevado contenido de dichos metales (Fig. 3 y 4, Aguilera *et al.* 2011, Cornejo *et al.* 2013).

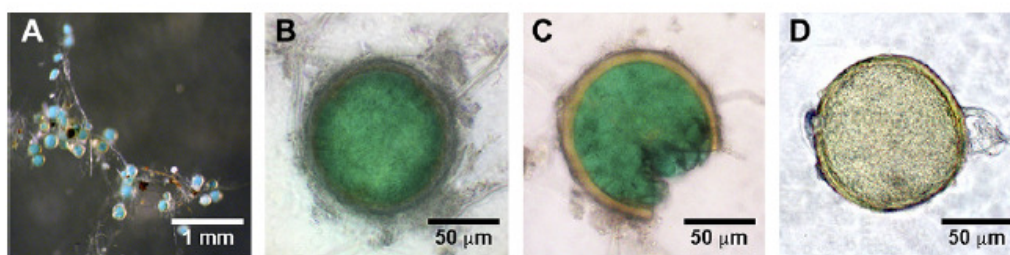


Figura 3. Esporas del HMA *C. clairodeum* extraídas de la rizósfera de *I. condensata*. A-C: suelos con 450 mg Cu *kg⁻¹ de suelo. D: suelos sin agregado de Cu.

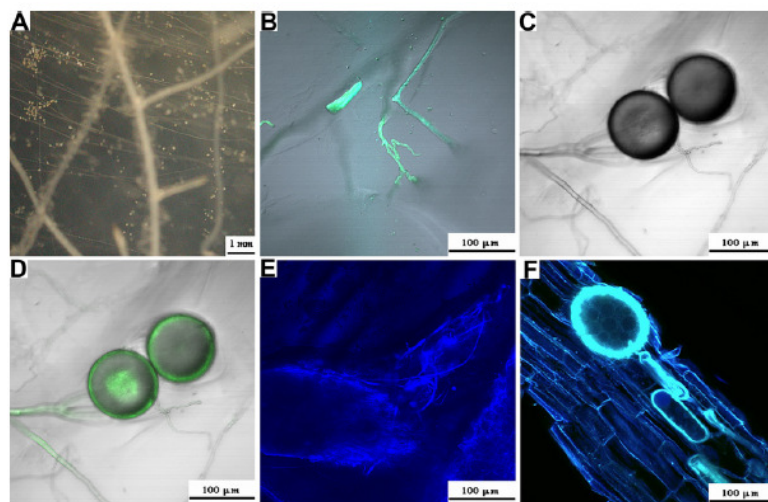


Figura 4. Cultivos *in vitro* del HMA *Glomus intraradices* creciendo en asociación con raíces de *Daucus carota* en presencia de Al³⁺. A: observación al microscopio óptico del micelio fúngico. B: Autofluorescencia (indica la presencia de Al³⁺) del micelio fúngico. C: esporas con luz visible. D: autofluorescencia de las esporas en C. E: Autofluorescencia de raíz sin el agregado de Al³⁺. F: Autofluorescencia estructuras de HMA en raíz con el agregado de Al³⁺.

Los HMA sintetizan y secretan una proteína hidrofóbica y recalcitrante llamada glomalina. La glomalina se define operacionalmente por su extracción del suelo con citrato y calor (Wright & Upadhyaya 1998). Dicha proteína forma parte de las paredes de las hifas y colabora en la agregación de los suelos. Varios autores han reportado la presencia de metales pesados en la fracción de suelo enriquecida en glomalina por lo que se especula que la glomalina podría colaborar con la estabilización en el suelo de los metales (Cornejo *et al.* 2008, Gil Cardeza *et al.* 2014, Gonzales-Chavés *et al.* 2004). Nuestro grupo de investigación encontró presencia de Cr en la fracción de suelo enriquecida en glomalina aún en suelos que ya no tenían cobertura vegetal, sugiriendo que la glomalina podría colaborar con la estabilización de Cr a largo plazo (Gil Cardeza *et al.* 2014).

Las evidencias sobre la presencia de metales pesados en las estructuras de HMA llevaron a la creación del término micorrizo-fitorremediación (Fig. 5, Khan 2006, Göhre & Paszkowski 2006). La presencia de HMA no sólo mejora el fitness de las plantas en los ambientes contaminados con metales pesados sino que estaría actuando como un bio-filtro en el suelo, evitando que los metales pesados vayan a las napas.

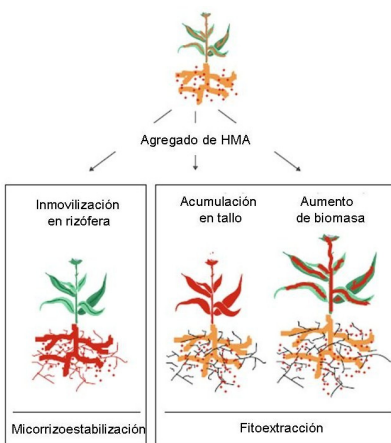


Figura 5. Contribución de los hongos micorrícicos arbusculares en biorremediación
(Adaptado de Göhre & Paszkowski 2006)

La presencia de los HMA en suelos contaminados con metales pesados puede ayudar a mitigar y disminuir la contaminación de las napas, sin embargo no resuelve el problema de contaminación del suelo ya que el/los metales continúan en el sitio. Es necesario entonces investigar en conjunto otras estrategias, como la utilización de plantas hiperacumuladoras de metales pesados que sean capaces de extraer el/los metales a la parte aérea. De esta manera, los HMA evitarían el paso de los contaminantes a las napas mientras la planta extrae el contaminante del suelo.

Bibliografía

Aguilera P, Borie F, Seguel A, Cornejo P. (2011). *Fluorescence detection of aluminum in arbuscular mycorrhizal fungal structures and glomalin by using confocal laser scanning microscopy*. "Soil Biol. and Bioch". 43: 2417-31.

- Barbara RLL, Souza FA & Fonseca HMA. (2006). *Fungos Micorrízicos Arbusculares: Muito além da nutrição*. “SBCS, Viçosa, Nutrição Mineral de Plantas”. Capítulo III: 432p. (ed. FERNANDES, M.S.).
- Cornejo P, Meier S, Borie G, Rillig MC & Borie F. (2008). *Glomalin-related soil protein in a Mediterranean ecosystem affected by a copper smelter and its contribution to Cu and Zn sequestration*. “Sci Tot Environ”. 406:154-60.
- Cornejo P, Pérez-Tienda J, Meier S, Valderas A, Borie F, Azcón-Aguilar C, Ferrol N. (2013). *Copper compartmentalization in spores as a survival strategy of arbuscular mycorrhizal fungi in Cu-polluted environments*. “Soil Biol & Bioch”. 57: 925-28.
- Göhre V & Paszkowski U. (2006). *Contribution of the arbuscular mycorrhizal symbiosis to heavy metal phytoremediation*. “Planta”. 223: 1115–22.
- González-Chávez M, Carrillo-González R, Wright S, Nichols K. (2004). *The role of glomalin, a protein produced by arbuscular mycorrhizal fungi, in sequestering potentially toxic elements*. “Environ Pollut” 130: 317–23.
- Hijri M & Sanders IR. (2005). *Low gene copy number shows that arbuscular mycorrhizal fungi inherit genetically different nuclei*. “Nature”. 433: 161-63.
- Khan AG. (2006). *Mycorrhizoremediation—an enhanced form of phytoremediation*. “J Zhejiang Univ SCIENCE B”. 7(7): 503-14.
- Meier S, Borie F, Bolan N, Cornejo P. (2012). *Phytoremediation of Metal-Polluted Soils by Arbuscular Mycorrhizal Fungi*. “CREST”. 42: 744-775.
- Parniske M. (2008). *Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbiosis*. “Nature rev. Microbiol”. 6: 762-75.
- Pawlowska TE & Taylor JW. (2004). *Organization of genetic variation in individuals of arbuscular mycorrhizal fungi*. “Nature”. 427: 733-36.
- Wright SF & Upadhyaya A. (1998) *A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi*. “Plant Soil”. 198: 97–107.